

# EL MANEJO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS\*

Por el Sr. W. A. HARDENBERGH y COMISIÓN CONSULTORA

## UNIDADES Y MÉTODOS DE MEDIDA

**Temperatura.**—Hay dos métodos corrientes para medir temperaturas, el de Fahrenheit, que se abrevia con una F, y el centígrado, que se abrevia con una C. El primero se emplea más a menudo en Estados Unidos para labores corrientes, en tanto que el segundo se utiliza casi exclusivamente en trabajos científicos. El operador debe ser capaz de convertir las temperaturas de una escala a otra. En la F, la temperatura de fusión del hielo corresponde a 32°, y la de ebullición del agua a 212, o sea una diferencia de 180 entre la congelación y la ebullición. En la escala C, la temperatura de fusión del hielo corresponde a 0°, y la de ebullición del agua a 100, o sea una diferencia de 100° entre la congelación y la ebullición.

Para convertir una lectura F a una C, réstense 32 de la lectura F, divídase el residuo por 9 y multiplíquese por 5. Por ejemplo, para encontrar a cuántos grados C corresponden 104 F, réstense 32, lo que da 72, que dividido por 9 da 8; multiplicando 8 por 5 se encuentra la respuesta, o sea 40 C. Para convertir una lectura C a una lectura F, divídase por 5, multiplíquese el cociente por 9, y al producto agréguese 32. Por ejemplo, para encontrar la temperatura F correspondiente a 30 C, divídase por 5, lo que da 6, que multiplicado por 9 da como producto 54, y agregándole 32, se encuentra la respuesta, o sea 86 F.

**El sistema métrico.**—En el laboratorio, así como en la mayoría de los trabajos científicos, se emplea el sistema métrico, que es sencillo y fácil de aprender. La unidad básica de volumen es el litro, que es ligeramente mayor que un cuarto (1.05 cuartos). El litro equivale a 1,000 centímetros cúbicos, o 1,000 mililitros. La unidad de peso es el gramo, o sea el peso de 1 centímetro cúbico de agua determinado en condiciones estándar. El miligramo es la milésima parte de 1 gramo; es decir, 1,000 miligramos equivalen a 1 gramo. Por lo tanto, 1 litro pesa 1,000 gramos o 1,000,000 de miligramos.

No se obtienen por lo común resultados exactos convirtiendo las medidas métricas de peso o de volumen a libras, onzas, pies, cuartos, etc., y en todo cálculo debe utilizarse el sistema que se adopte desde el principio. El operador debe acostumbrarse a utilizar el sistema métrico en todo trabajo de laboratorio, ya que resulta más fácil y es el empleado en la mayor parte de la literatura sobre el tema.

Utilizanse por lo común la siguientes abreviaturas: litro, *l*; centímetro cúbico, *cc*; mililitro, *ml*; miligramo, *mg*; gramo, *gm*; kilogramo, *kg*.

La mayor parte, si no todos los aparatos de laboratorio están graduados en *cc* o *ml*, y las balanzas en *gm* y *mg*.

**Mediciones.**—La cantidad de materias sólidas que contienen las aguas negras, y las dosis de sustancias químicas, como el cloro, se expresan de preferencia en partes por millón: *ppm*. En el sistema métrico 1 *mg* por litro (1 *mg/l*) equivale a 1 *ppm*; 3 *mg/l* a 3 *ppm*. Otro método para indicar la dosis, no muy común en trabajos de aguas negras, pero sí en la purificación de aguas, consiste en indicar los gramos por litro (*gm/l*).

**Términos hidráulicos y relaciones.**—El flujo de aguas negras se mide generalmente en litros por día, o abreviadamente en *l/d*; o también, en ocasiones, en

\* Traducido por el Sr. Alfredo D. Bateman para la Oficina Sanitaria Panamericana.

litros por minuto, l/m. Cuando se trata de grandes cantidades, se usan metros cúbicos por segundo, m<sup>3</sup>/s, o metros cúbicos por día, m<sup>3</sup>/d.

**Relaciones entre los términos.**—Un flujo de 1 litro por minuto es igual a 60 litros por hora o 1,440 l/d; 100 l/m equivalen a 144,000 l/d; 500 l/m equivalen a 720,000 l/d.

#### COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras, tal como corren por las alcantarillas, y antes de llegar a la planta de tratamiento, se denominan *aguas negras crudas ó afluente*; después de su paso por la planta se denominan *aguas negras tratadas ó efluente*. El informe del análisis de una agua negra cruda quizás contenga datos por el estilo de los siguientes:

Sólidos totales.....	329 ppm
Sólidos orgánicos.....	197 ppm
Sólidos inorgánicos.....	132 ppm
Sólidos en suspensión.....	110 ppm
D.O.B. (5 días).....	296 ppm
pH.....	7.0

¿Cuál es el significado de estos términos, que debe conocer a fondo el operador para poder manejar la planta con toda eficiencia?

**Sólidos totales.**—Esto significa exactamente lo que dice; los sólidos totales en la muestra de aguas negras llegan a 329 ppm; esto es, que 1,000,000 kg (1) de aguas negras contienen 329 kg de sólidos. Y estos sólidos pueden ser clasificados después, pues algunos estarán formados por cascajo y arena, y otros por materias fecales, trozos de vegetales, etc.

El cascajo y la arena (así como los carbonatos, sulfatos, etc.), se denominan sólidos fijos o inorgánicos. Estos sólidos no deben preocupar mayor cosa, pues no se descomponen; aunque a veces resultan difíciles de manejar y constituyen a menudo una fuente de olor por las materias orgánicas mezcladas con ellos, no ocasionan mayores dificultades al operador. Las materias fecales, partículas vegetales y otras sustancias de naturaleza semejante representan los sólidos orgánicos, cuyo tratamiento constituye el trabajo, así como la mayoría de los problemas del operador.

El ejemplo anterior, tomado de un análisis real, revela que las aguas negras contenían 329 ppm de sólidos totales, de los cuales 132 eran inorgánicos y 197 orgánicos. Si consideramos los últimos, vemos que 1,000 l de aguas negras sólo contenían 197 gm de materias orgánicas, cantidad muy pequeña, pero suficiente para provocar la descomposición de las aguas, con emisión de olor.

**Sólidos en suspensión.**—Algunos de los sólidos que contienen las aguas negras se disuelven, en la misma forma que el azúcar se disuelve en el café, pero algunos quedan suspendidos en forma de partículas de varios tamaños, y estos sólidos en suspensión pueden ser orgánicos e inorgánicos. Si las aguas negras se mantienen quietas en un tanque o vasija, algunos de los sólidos suspendidos se asentarán en el fondo. La mera sedimentación no eliminará, sin embargo, más de la mitad de ellos. En la muestra mencionada, los sólidos en suspensión ascendían a 110 ppm, y la sedimentación eliminó un 45% de ellos, pues el análisis del efluente del tanque de sedimentación reveló 60 ppm de sólidos suspendidos.

Los sólidos que se asientan reciben el nombre de sólidos sedimentables. La prueba para determinar los sólidos sedimentables consiste en dejar que las aguas negras se asienten durante una o dos horas en vasijas especiales de vidrio. Los resultados con esta prueba difieren de los obtenidos en la planta, pero dan una idea de la cantidad de sólidos que puede eliminar la sedimentación.

No resulta práctico eliminar todos los sólidos de las aguas negras. En la mayoría de las plantas de tratamiento no sustraen gran parte de los sólidos totales (quizás no más de 25%), pero hay que alterar los sólidos orgánicos para eliminar en todo lo posible sus molestas características. Así pues, la planta de tratamiento tiene por fin: (1) eliminar en todo lo posible los sólidos en suspensión, tanto orgánicos como inorgánicos; (2) convertir las sustancias orgánicas en formas estables.

**D.B.O.**—Estas tres letras constituyen una forma sencilla de escribir el término bastante imponente de "Demanda bioquímica de oxígeno." La DBO de las aguas negras es la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar el contenido de sustancias orgánicas inestables y susceptibles de descomposición.

La DBO de la muestra mencionada al principio de este trabajo ascendía a 296; es decir, que se necesitaban 296 ppm de oxígeno para satisfacer las demandas de las sustancias orgánicas presentes durante un período dado (cinco días en este caso). Si recordamos que 1 ppm = 1 kg por millón de litros, mediante los dispositivos de tratamiento deben facilitarse 296 kg de oxígeno por millón de litros de aguas negras para satisfacer la DBO.

En realidad se necesitará un poco más (como una tercera parte más). La estabilización completa requiere varios meses, o sea un período demasiado prolongado para verificar pruebas, y los resultados obtenidos a los tres o cuatro meses de tomar la muestra no revisten mayor valor como guía del tratamiento. Por lo tanto, en la práctica se toman por lo común los resultados obtenidos al cabo de cinco días. La DBO de 296 constituye el resultado tipo de cinco días. La experiencia ha demostrado que la DBO representa a los cinco días un 68% de los requisitos finales. La demanda bioquímica de oxígeno asciende pues, a unos 395 kg por millón de litros de aguas negras. Suministran esta demanda dispositivos tales como los filtros de goteo, así como el oxígeno disuelto en la corriente a que van a parar las aguas negras.

En las mismas aguas negras, la DBO de cinco días del effluente del tanque de sedimentación llegó a 148, y la de los filtros de goteo a 43. Puede computarse el efecto sobre la corriente de la descarga de las aguas negras crudas (DBO 296), del effluente del tanque de sedimentación (DBO 148), y del effluente de los filtros de goteo (43). Quizás resulte más fácil calcular la cantidad de agua, con 5 ppm de oxígeno disuelto, que se necesitará para suplir las necesidades, según revelen las pruebas de cinco días.

Las aguas negras requerirán  $296 \div 5$ , o sea casi 60 veces más agua que líquido cloacal; el effluente del tanque,  $148 \div 5$ , o sea casi 30 veces, y el effluente de los filtros,  $43 \div 5$ , o unas nueve veces más agua que aguas negras.

**pH.**—Esta es una medida de la acidez o alcalinidad de las aguas negras, que reviste importancia en varios sentidos. En las plantas de tratamiento en que utilizan la sedimentación, pero sin la coagulación química ni el barro activado, el pH resulta en particular valioso para guiar al operador en el tratamiento del barro. La mejor digestión se obtiene por lo común cuando el barro es ligeramente alcalino, pero algunas plantas han comunicado buena digestión con un pH de 6.8 y hasta menor.

Precisa conocer el valor del pH para obtener los resultados más satisfactorios con las sustancias químicas empleadas cuando se utiliza la coagulación química, y para asegurar el funcionamiento satisfactorio de las plantas de tratamiento con barro activado.

Un pH inferior a 7.0 indica acidez, y superior a 7.0 alcalinidad. Mientras más se aleje la cifra de 7.0, mayor o más intensa es la acidez, y entre más supere a 7.0, más intensa es la alcalinidad.

**Otras pruebas.**—Hay otras muchas pruebas que resultan más o menos valiosas para el operador. Entre las valiosas figura la de la putrescibilidad o del azul de

metileno, utilizada principalmente en las plantas más pequeñas y en la prueba del cloro residual. Con algunas excepciones, en los párrafos siguientes describiremos estas pruebas, así como las otras mencionadas en este capítulo.

Debemos mencionar también la prueba del OD, u oxígeno disuelto, que indica el contenido de oxígeno disuelto en las aguas negras o en la corriente a la cual van a descargar. En la muestra que venimos discutiendo en este trabajo, el OD de las aguas negras crudas llegaba a 1.25 ppm, y el del efluente de los filtros de goteo a 7.4 ppm. En ocasiones se utilizan pruebas para: el amoníaco libre, que indica la descomposición que ya ha tenido lugar; el nitrógeno orgánico; el nitrógeno total; el nitrógeno en forma de nitritos y de nitratos; y el oxígeno consumido. Estas pruebas no revisten por lo común la misma importancia para el operador que las mencionadas antes.

Existen pruebas de que la alcalinidad de las aguas negras puede afectar la coagulación en el tratamiento químico, y la cantidad de CO<sub>2</sub> libre puede afectar la proliferación de las algas en la corriente que recibe el efluente de la planta.

#### LAS PRUEBAS Y MANERA DE EJECUTARLAS

Es necesario que el laboratorio ejerza algún control sobre la planta de tratamiento de aguas negras. Algunas pruebas, pocas en número y de fácil ejecución, aun por individuos no acostumbrados a estas labores, resultan muy valiosas para indicar los resultados y para controlar el funcionamiento de la planta. Dichas pruebas tienen por objeto determinar:

- (a) Los sólidos totales
- (b) Los sólidos sedimentables
- (c) El pH (concentración hidrogeniónica)
- (d) El cloro residual
- (e) La putrescibilidad (para las plantas que no determinan la DBO)
- (f) La demanda bioquímica de oxígeno
- (g) El oxígeno disuelto

Ya han sido explicadas en términos generales estas pruebas, con excepción de las indicadas con las letras *a*, *d* y *e*. El cloro residual mide la cantidad de cloro que queda en las aguas negras tras un breve período de contacto. La prueba de la putrescibilidad, o del azul de metileno, mide la susceptibilidad de las aguas negras a descomponerse o podrirse, y se compara toscamente a la prueba de la DBO. La prueba de los sólidos totales indica la cantidad de sustancias sólidas disueltas y suspendidas en las aguas negras. Las siete pruebas son sencillísimas, con excepción de las dos últimas.

**Equipo de laboratorio.**—Precisa contar con un ejemplar de la obra "Métodos estándar de análisis de aguas y aguas negras" (Standard Methods of Water and Sewage Analyses), publicada conjuntamente por la Asociación Americana de Salud Pública y la Asociación Americana de Trabajos Hidráulicos. La obra contiene instrucciones precisas y detalladas para ejecutar todas las pruebas necesarias. La obra "Análisis del agua y de las aguas negras" (Analysis of Water and Sewage) de Theroux, Eldridge y Mallman es un guía más fácil para personal inducto en trabajos de laboratorio.

**Recolección de muestras.**—Las muestras pueden ser "aisladas," es decir, un solo balde o frasco lleno, o "compuestas," o sean las que se obtienen combinando muestras tomadas cada hora o media hora, y proporcionales a la descarga de aguas negras en un período de 24 horas. Las muestras aisladas se utilizan por lo común para ejecutar las pruebas destinadas a controlar el funcionamiento de la planta. Las pruebas del OD y pH deben ejecutarse con muestras aisladas recientes.

Al tomar muestras para determinar los resultados del tratamiento, debe tenerse en cuenta el tiempo necesario para que las aguas negras pasen por la planta.

Si el período de detención en el tanque de sedimentación es de  $2\frac{1}{2}$  horas, y la muestra de aguas negras crudas fué tomada a la entrada a las 9 a.m., la muestra del efluente debe tomarse a las 11:30 a.m.; y si las aguas tardan 30 minutos en pasar por los filtros de goteo, debe tomarse allí una muestra a las 12 m. (Scott, de Connécticut, ha descubierto que una hora constituye un período razonable para el paso por los tanques de sedimentación, pues las detenciones reales son invariablemente más breves que las teóricas.)

Trátase de obtener muestras que sean típicas; estúdiense la situación y úsese el propio criterio. Descártense los recipientes sólidos y grandes. Un cucharón esmaltado de 2 litros, o un balde pequeño, o ambos, resultan apropiados para obtener muestras, haciendo los arreglos necesarios para ejecutar con prontitud las pruebas. Al discutir las pruebas ofrécese más información sobre este punto, pero en general deben ejecutarse dentro de dos o tres horas. Véase la obra "Métodos estándar."

**Sólidos sedimentables.**—Esta prueba mide la cantidad de sustancias que se asentarán en un período estándar de dos horas. La cantidad que se asienta puede considerarse como la cantidad que eliminará la simple sedimentación.

Utilícense dos o más conos de Imhoff, marcados cerca de la porción superior con un anillo que indica 1 l o 1,000 ml, y provisto en la base de graduaciones que permiten leer con exactitud 50 ó 100 ml.

*Estabilidad relativa al azul de metileno*

Proporción de oxígeno disponible al oxígeno necesario para una temperatura de 20 C.

Días necesarios para la descoloración	Estabilidad relativa	Días necesarios para la descoloración	Estabilidad relativa
$\frac{1}{2}$ .....	.11	6.....	.75
1.....	.21	7.....	.80
$1\frac{1}{2}$ .....	.30	8.....	.84
2.....	.37	9.....	.87
$2\frac{1}{2}$ .....	.44	10.....	.90
3.....	.50	11.....	.92
4.....	.60	12.....	.94
5.....	.68	13.....	.95

Llénese el cono hasta la marca de 1 l con aguas negras bien agitadas; como a los 15 minutos hágase girar suavemente, cambiando la dirección de rotación tres o cuatro veces, y repitiendo de nuevo hasta unos 5 minutos antes de la lectura definitiva. Esto permite que caiga el material adherido a las paredes, y nivela, además, el que queda en la base.

En la primera media hora se deposita un 90% de los sólidos sedimentables, en la primera hora 95%, y en dos horas casi 100%. Utilizando las graduaciones en el fondo del cono, puede leerse directamente la cantidad de material depositado. Debe anotarse la densidad.

Los resultados obtenidos cuando la lectura se basa en las graduaciones no pasan de ser relativos, pues los sólidos sólo rara vez se agrupan bastante para indicar el verdadero volumen. Para obtener resultados exactos hay que extraer el líquido sobrenadante, y determinar los sólidos totales, así como los sólidos totales del material sedimentado, pudiendo así computar fácilmente la proporción que se sedimenta.

Esta prueba debe ejecutarse a la misma hora todos los días, y exactamente en la misma forma. Las muestras adicionales tomadas a distintas horas, constituyen

a menudo comprobaciones valiosas. Anótese los resultados en ml por 1,000 l, o mejor todavía, en ppm. Manténganse los conos limpios con un cepillo de mango largo, agua caliente y jabón; la grasa en las paredes interiores dificulta la buena sedimentación.

**Sólidos totales.**—La cantidad total de sólidos en las aguas negras se determina evaporando un volumen conocido de dichas aguas, según menciona la obra "Métodos estándar," y pesando el residuo seco. Evapórense 100 ml en una cápsula de platino, porcelana o sílice, de peso conocido, y deséquese el residuo durante una hora a 103 C. Pésese luego el residuo en la cápsula, y réstese el peso de ésta para obtener el del residuo desecado. Si la muestra primitiva era de 100 ml, las partes por millón de sólidos en las aguas negras se encuentran multiplicando por 10 el peso de la muestra en miligramos.

Si se calienta luego al rojo (o se incinera), se queman todas o la mayor parte de las sustancias orgánicas, y el residuo representa aproximadamente la cantidad de materias inorgánicas en la muestra.

**pH.**—La alcalinidad o acidez de las aguas negras se mide por lo común únicamente por su intensidad, indicada por el pH. El punto neutro—ni ácido ni alcalino—se indica por pH 7. Las cifras menores indican acidez, y entre más pequeñas, más intensa es la acidez. Por ejemplo, 6.4 es ácido, 6.0 más ácido, y 5.5 aun más. Los números de 7 a 14 indican alcalinidad; 7.6 es ligeramente alcalino, 8.0 más alcalino, y 9.2 aun más.

Se han elaborado indicadores que indican el pH mediante varios matices de color. Es mejor comprar uno de los varios comparadores de pH muy satisfactorios, y seguir las sencillas instrucciones que los acompañan. Esos aparatos no son costosos, y son muy superiores a todo sustituto. Para trabajos de aguas negras, el mejor equipo es el de determinación eléctrica.

La determinación de los valores de pH resulta útil en la digestión y tratamiento del barro, necesaria en la coagulación química, y deseable en el funcionamiento corriente de la planta. Debe anotarse diariamente, a la misma hora todos los días. Resultan valiosas las pruebas ocasionales, ejecutadas a distintas horas para determinar las variaciones del pH de las aguas negras.

**Cloro residual.**—Cuando se agrega cloro a las aguas negras, la cantidad necesaria se determina por el residuo que queda a los 15 minutos de la aplicación. La experiencia ha demostrado que si hay un residuo de 0.5 ppm a los 15 minutos, la dosis de cloro ha sido suficiente.

La prueba empleada más a menudo es la que utiliza la ortotolidina como reactivo colorimétrico. La solución de ortotolidina puede comprarse al fabricante del clorador, a las casas que venden aparatos de laboratorio o productos químicos, o prepararse de acuerdo con las instrucciones que aparecen en los "Métodos estándar."

Es mejor ejecutar la prueba utilizando un comparador de cloro, que puede obtenerse en las casas que fabrican aparatos de laboratorio, o también con frascos, tubos de ensayo o de Nessler. Colóquense 15 cc de aguas negras en un tubo de Nessler, dejándolas reposar 15 minutos después de la cloración, a menos que ya haya transcurrido dicho período desde que se aplicó el cloro. Agréguese 1 cc de solución de ortotolidina, mézclese y déjese reposar 10 ó 15 minutos. En tiempo frío caliéntese ligeramente. Obsérvese el color. Conviene contar con una escala colorimétrica, que ya la llevan los comparadores. En general, un color amarillo limón indica una dosis apropiada.

Puede aplicarse también la prueba del almidón para el yoduro. Para pormenores véanse los "Métodos estándar."

(Continuará)